Aus dem physiolog. Institut der Universität Halle a. S.

Beitrag zur Lehre vom Augenmass bei zweiäugigem und bei einäugigem Sehen.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doctorwürde in der Medizin und Chirurgie,

welche

mit Genehmigung der hohen medizinischen Fakultät

der

Vereinigten Friedrichs-Universität

Halle-Wittenberg

Mittwoch, den 15. August 1906, Vormittags 10 Uhr

öffentlich vortragen wird

Paul Hoefer

approb. Arzt

aus **Halle a. S.**

Halle a. S.
Hofbuchdruckerei von C. A. Kaemmerer & Co.
1906.

Gedruckt mit Genehmigung
der Medizinischen Fakultät der Universität Halle.

Referent: Geh. Med.-Rat Prof. Dr. **Bernstein.**

W. Roux
Decan.

I. Charakterisierung des Problems.

Hält man zwei Finger mit etwa 20 cm Distanz so hintereinander, dass der vordere den hinteren für das linke Auge völlig verdeckt, so erscheint der hintere Finger — obgleich nur dem rechten Auge sichtbar — doch zwingend in einer bestimmten Entfernung hinter dem vorderen. Diese zwangsmässige subjective Lokalisation ist wesentlich gleichwertig mit derjenigen, welche gilt, wenn die beiden Finger beiden Augen sichtbar sind und bei Fixation des vorderen Fingers der hintere einfach — stereoskopisch im engeren Sinne — oder aber in Doppelbildern erscheint. Die Tiefenlocalisation einäugig gerade gedeckter, also nur unocular sichtbarer Conturen sei im Folgenden als „Wheatstoné-Panum'scher Grenzfall" bezeichnet. Derselbe schliesst sich unmittelbar an die Tiefenlocalisation vorragender oder einspringender Conturen an, welche sich in den beiden Augen in verschiedener Excentricität von der Foveamitte abbilden. Im letzteren Falle werden Netzhautelemente von verschiedener Function, genauer gesagt mehr oder weniger querdisparate Längsschnitte in beiden Augen gereizt. Mit einer wesentlich gleichartigen Erregung querdisparater Netzhautelemente ist bekanntlich der zwangsweise Tiefeneindruck „Näher oder Ferner als der fixierte Punkt" verknüpft (E. Hering,[1])

1) Beiträge zur Physiologie. 5 Hefte. 1861—1864. Leipzig, spec. 5 Heft, S. 298. — Die Gesetze der binocularen Tiefenwahrnehmung. Arch. f. Anat. und Physiol. 1865. S. 79–97, spec. 82 und S. 152–165, spec. 161. — Kap. Raumsinn. Hermanns Handbuch d. Physiol. Bd. 3, T. 1. S. 401—403, 1879.

neuerdings speciell bestätigt von Heine, Kothe, Weinhold).[1]) Dieser Eindruck ist bestimmter und dauerhafter, wenn das betreffende Objekt einfach erscheint; er fehlt aber auch nicht — wenigstens nicht zu Anfang — bei Erscheinen in Doppelbildern (Dove, Recklinghausen, Hering, Volkmann, Helmholtz, Tschermak und Hoefer).[2])

Hält man zwei Finger so hinter und seitlich von einander, dass sie von beiden Augen und zwar einfach gesehen werden, während man den vorderen fixiert, so zeigt der andere hinten und seitlich gehaltene einen bestimmten Tiefenunterschied und einen bestimmten Seitenabstand. Schliesst man das eine Auge und zwar jenes, auf dessen Seite der

---

1) Heine, Ueber die Bedeutung der Längenwerte für das Körperlichsehen. Zeitschr. f. Augenheilk. S. 351, 1903. — Kothe, Ueber Längsdisparationen und über Ueberplasticität naher Gegenstände. Archiv f. Augenheilk. S. 49, 338—349, 1903. — Weinhold, Ueber das Sehen mit längsdisparaten Netzhautmeridianen. Arch. f. Ophth. S. 54, 201—210, 1902.

2) Dove, Ueber die Combination der Eindrücke beider Ohren und beider Augen zu einem Eindrucke. Sitzungsber. der Berl. Akad. der Wiss. S. 252, 1841; Farbenlehre und optische Studien. 1853. S. 163; Ueber Stereoskopie, Pogg. Ann. 110, S. 494, 1860. — F. v. Recklinghausen, Netzhautfunktionen. Arch. f. Ophth. 5 (2), S. 127—179. 1859, spec. S. 170—173; Zur Theorie des Sehens. Pogg. Ann. 110, S. 65—92, 1859. Auch A. Classen (Das Schlussverfahren des Sehaktes. Leipzig 1863. S. 75) betont im Anschluss an Dove und Recklinghausen, dass die Existenz von Doppelbildern zu einer körperlichen Wirkung genügt, und dass die Doppelbilder eines Objektes am „richtigen" Orte erscheinen. Die vorstehenden Litteraturdaten seien (nach Angabe von A. Tschermak) zur Abhandlung von Tschermak und Hoefer nachgetragen; sie waren uns damals noch nicht bekannt. — E. Hering, Beiträge, 2. H. S. 144, 152—155, 1862 und 5. H. S. 335—342, 1864. — Volkmann, Physiologische Untersuchungen im Gebiete d. Optik. 2. H. Leipzig 1864. — Helmholtz, Ueber d. Horopter (S. 1—60). 3. Bedeutung des Horopters beim Sehen. Arch. für Ophth. 10 (1). S. 27—40, 1864. — A. Tschermak und P. Hoefer, Ueber binoculare Tiefenwahrnehmung auf Grund von Doppelbildern. Pflügers Arch. 98, 299—321, 1903. — Heine, Zur Frage der binocularen Tiefenwahrnehmung auf Grund von Doppelbildern. Ebenda 104. S. 316 bis 319, 1904.

hintere Finger gehalten wird, so erscheint der Seitenabstand kleiner als bei zweiäugiger Beobachtung. Schliessen des anderen Auges lässt ihn grösser erscheinen. Der Tiefenabstand verliert beim Schliessen eines Auges zugleich an Bestimmtheit. Bei zweiäugigem Sehen zeigt der indirekt und einfach gesehene hintere Finger einen etwa mittleren Seitenabstand. Daraus ist mit Hering zu schliessen: stereoskopische Eindrücke erscheinen in einer mittleren subjectiven Sehrichtung, nicht in der Sehrichtung, welche der gereizten Stelle im rechten bezw. im linken Auge bei einäugiger Beobachtung zukommt.

Wesentlich anders scheinen zunächst die Verhältnisse zu liegen, wenn man den oben bezeichneten Wheatstone-Panum'schen Grenzfall analysiert. Hier tritt keine Abbildung auf einem Paare querdisparater Elemente ein. Es besteht scheinbar kein Anlass, dass der ja immer bloss einäugig sichtbare hintere Finger oder Contur einen verschiedenen scheinbaren Seitenabstand eine verschiedene subjective Sehrichtung aufweist, wenn das eine Mal mit beiden Augen, das andere Mal bloss einäugig beobachtet wird und zwar mit demjenigen Auge, für welches der Finger oder Contur nicht verdeckt ist. Und doch ist eine Änderung des Seitenabstandes, ein scheinbares seitliches Näherstehen der beiden Finger bei binocularem, ein scheinbares Fernerabstehen bei unocularem Sehen eine leicht zu beobachtende Tatsache. Bei raschem Wechsel von zweiäugiger und einäugiger Betrachtung ist die jedesmalige plötzliche Abstandsänderung recht auffallend. Diese Erscheinung des Heranspringens und des Wegspringens des indirect gesehenen Fingers tritt nicht bloss ein, wenn man den vorderen, deckenden Finger dauernd fixiert. Sie erfolgt in ganz analoger Weise, wenn man den hinteren constant ins Auge fasst, ihn also mit dem einen Auge betrachtet, während man mit dem anderen Auge gewissermassen durch den vorderen Finger hindurchzusehen sich bemüht. — Eine analoge scheinbare Änderung der Seitenabstände beobachtet man auch, wenn mehr als zwei einander deckende

Objecte in die Gesichtslinie des einen Auges gebracht werden und dann das vorderste Object abwechselnd binocular und unocular fixiert wird. Jedesmal ändert sich sprungweise das Augenmaass oder der subjective Maassstab für den Seitenabstand beider Finger beim Wechsel von binocularer und unocularer Betrachtung. Der subjective Sehrichtungswinkel zwischen den beiden Eindrücken ist bei zweiäugigem Sehen kleiner, obwohl der objective Abstand der beiden Finger bezw. der von ihnen begrenzte objective Gesichtswinkel für das Auge derselbe bleibt. Gerade der hieraus abzuleitende Beweisgrund zu Gunsten der subjectivistischen Lehre vom räumlichen Sehen und zu Ungunsten der objectivistischen Projectionstheorie[1]) verleiht jener Beobachtung ein specielles Interesse. Viel deutlicher und ganz einwandfrei ist der oben geschilderte Versuch, wenn man feinere Objecte, wie dünne Stäbe, Nadeln, Fäden oder Haare mit angehängten Loten verwendet und alle erfahrungsmässigen Motive der Tiefenlocalisation ausschliesst (vgl. später).

Die geschilderte Tatsache wurde von A. Tschermak im Laufe seiner Studien über die Correspondenz der Netzhäute und über die Grundlagen der Stereoskopie an normalen Binocularsehenden festgestellt[2]) und findet sich meines Wissens vorher nicht in der Litteratur erwähnt.

Das Problem der Tiefenlocalisation bloss einäugig sichtbarer Conturen ist bekanntlich bereits von Wheatstone[3])

1) Man vergleiche die principielle und historische Gegenüberstellung der beiden Anschauungsweisen in der Monographie. A. Tschermak's: Über d. Grundlagen d. optischen Localisation nach Höhe und Breite. Ergebn. d. Physiol. 4, 517—564, 1905, spec. 517 bis 521.

2) Zuerst mitgeteilt auf d. I. Kongress für experimentelle Psychologie in Giessen, April 1904. Vgl. d. Bericht, II. Abt. S. 28—29. A. Tschermak, Neue Untersuchungen über Tiefenwahrnehmung mit besonderer Rücksicht auf deren angeborene Grundlage.

3) Wheatstone, Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinnes. Pogg. Ann. Erg.-Bd. S. 1—49, 1842.

P. L. Panum, Physiologische Untersuchungen über das Sehen mit zwei Augen. Kiel 1858, spec. S. 76.

in Angriff genommen worden. Nach ihm sollte die Plastik bei haploskopischer Vereinigung entsprechender Zeichnungen — beispielsweise zwei verticale Linien für das rechte, eine für das linke Auge (Panum) oder ein schiefes Kreuz aus einem Verticalbalken und einem Schrägbalken einerseits, ein blosser Verticalbalken andererseits — durch stereoskopisches Einfachsehen mit disparaten Netzhautstellen und gleichzeitiges Doppelsehen mit identischen Elementen zu Stande kommen. Dieser interessante Einwand gegen die Identitätslehre Joh. Müllers wurde eingehend widerlegt durch E. Hering, welcher z. T. im Anschluss daran die Lehre von der fixen Sehrichtungsgemeinschaft oder congenital bedingten Correspondenz der Netzhäute begründete.[1]) — Vor mehreren Jahren hat Fr. Wächter[2]) aus dem hier behandelten Grenzfalle, und zwar in seiner Form nach Panum, nämlich nach dem Plastischerscheinen eines Würfels, dessen Seitenfläche nur dem einen Auge sichtbar war, die „empirische Grenze des telestereoskopischen Sehens“ zu ermitteln gesucht. Wie vorauszusehen hielt der plastische Eindruck so lange an, als die Conturen der Seitenfläche des Würfels für das eine Auge noch von einander getrennt erschienen. Dementsprechend stimmen auch die von Wächter binocular erhaltenen Werte im wesentlichen überein mit den Werten, welche nach der Methode von Weber für die Grenzen der Sehschärfe im einzelnen Auge unter gleichen Bedingungen zu erhalten sind. (Die von E. H. Weber unter günstigen Bedingungen erhaltenen Zahlen sind allerdings nicht unerheblich kleiner.) Andererseits wurde die wahre Grenze des stereoskopischen Sehens im engeren Sinne neuerdings von E. Hering[3]) als identisch mit der Grenze der unocularen Sehschärfe (12″)

1) Beiträge. H. 2, § 29, S. 82—96, 1862.

2) Über die Grenzen des telestereoskopischen Sehens. Sitzungsbericht d. Wiener Akad. Math.-naturw. Cl. Bd. 105, S. 856—874, 1896. Siehe auch die Besprechung dieser Arbeit durch F. Hillebrand, Zeitschr. für Psychol. u. Physiol. d. S. O. Bd. 16, S. 155—158, 1898.

3) Über d. Grenzen d. Sehschärfe. Ber. d. math. phys. Cl. d. sächs. Ges. d. Wiss. zu Leipzig, S. 16—24, 1899.

nach Wülfing[1]) erwiesen. (Wülfings Angabe wurde von F. Best[2]) bestätigt (13″), welcher aber zugleich durch die Methode der richtigen und falschen Fälle nachwies, dass noch ein Lagenunterschied von 2,5″ von Einfluss auf die Wahrnehmung ist.) Die empirische Grenze ist von Pulfrich[3]) unter optimalen Bedingungen auf eine Gesichtswinkeldifferenz (geometrische Querdisparation) von 10″ und noch weniger bestimmt worden.[4])

Das hier behandelte Problem ist einer messenden Untersuchung, genauer gesagt, einer zahlenmässigen Charakterisierung durchaus zugänglich. Auf Vorschlag von A. Tschermak habe ich eine solche vorgenommen, über deren Methodik und Ergebnisse im Nachstehenden berichtet sei. Meine Arbeit schliesst sich in mehrfacher Beziehung an frühere Untersuchungen an, welche A. Tschermak im Verein mit K. Kiribuschi, M. Frank und mir selbst ausgeführt hat.[5])

1) Über die kleinsten Gesichtswinkel. Zeitschr. f. Biologie Bd. 29, N. F. Bd. 11, S. 199, 1892.

2) Über d. Grenze der Erkennbarkeit von Lagenunterschieden. Arch. f. Ophth. 51 (3), S. 453—460, 1900.

3) Der stereoskopische Entfernungsmesser von Zeiss-Jena. (Vortrag a. d. Naturforschervers. in München.) Physikalische Zeitschrift 1899, S. 98. — Über einige stereoskopische Versuche. Zeitschr. f. Instrumentenkunde, S. 221—224, 1901. — Über eine Prüfungstafel für stereoskopisches Sehen. Ebenda S. 249—260, 1901, betr. Grenzen d. Tiefenunterscheidung spec. S. 258—260.

4) Man vergl. die Beobachtungen von Hering (11″) und F. B Hofmann (11—12″, bei Hering l. c.), L. Heine (Sehschärfe und Tiefenwahrnehmung. Arch. f. Ophth. 51, S. 146, 1900), O. Hecker (Über die Beurteilung d. Raumtiefe u. der stereoskopischen Entfernungsmesser von Zeiss-Jena. Zeitschr. f. Vermessungswesen H. 3. S. 3—16), 1901, E. Wächter (Mitteilungen über Gegenstände des Artillerie- und Geniewesens, Wien 1898, S. 308.

5) Vergl. A. Tschermak, Beitrag zur Lehre vom Längshoropter. (Über die Tiefenlokalisation bei Dauer- und bei Momentreizen.) Nach Beobachtungen von Dr. K. Kiribuchi. Pflügers Archiv 81, 328 bis 348, 1900. — A. Tschermak und P. Hoefer (l. c.). — M. Frank, Beobachtungen betreffs der Übereinstimmung der Hering-Hillebrandschen Horopterabweichung und des Kundt'schen Teilungsversuches. Pflügers Archiv, Bd. 109, S. 63—72, 1905.

Herrn Professor A. Tschermak bin ich für die Anregung zu dieser Arbeit und für die freundliche Unterstützung bei ihrer Ausführung zu grossem Danke verpflichtet.

Ebenso spreche ich Herrn Geh. Rat Prof. J. Bernstein für die mannigfache Förderung und für die gütige Überlassung der Arbeitsmittel seines Instituts meinen verbindlichsten Dank aus.

II. Methodik.

Der Kopf des Beobachters (P. Hoefer) war durch einen metallenen Gebisshalter dauernd festgestellt. Seine Pupillardistanz beträgt 64,1 mm; sie wurde mit dem Helmholtz'schen Visierzeichen bestimmt. In der Mehrzahl der Versuche war folgende Anordnung getroffen. Der Beobachter blickte in symmetrischer Convergenz durch eine querovale, innen geschwärzte Röhre (27 cm breit, 20 cm hoch, 25 cm lang), welche einen passenden Ausschnitt für die Stirne aufwies. Das abgewendete Ende der Röhre — ca. 22,5 cm von dem äusseren Augenwinkel entfernt — trug ein rechtwinkliges Diaphragma, dessen vier Wangen eine erhebliche Variation des Ausschnittes nach Höhe und Breite erlaubten. In meinen Versuchen kamen durchweg die Maasse: 12 cm Breite, 4,5 cm Höhe zur Verwendung. Als Beobachtungsobjekte dienten drei schwarze Chinesenhaare mit Loten (Länge 19 cm), welche durch Vermittlung kleiner Schlitten (bezw. an darauf befestigten horizontalen Messingstäbchen) von einem metallenen Querbalken herabhingen. Der Querbalken ruhte auf zwei weit seitlich abstehenden Säulchen. Die Schlitten gestatteten eine feine seitliche Verschiebung der Lote mittelst feiner Schrauben; eine solche nach der Tiefe geschah durch Verschieben der Traghülsen des Lotes längs eines horizontalen Stäbchens, das wieder an dem Schlitten angriff. Der reine Seitenabstand konnte an der Skala des Querbalkens bis auf Zehntelmillimeter abgelesen werden. Die Lote hingen zur Dämpfung gegen Erschütterungen in einem Ölbade. Die ganze Aufhängevorrichtung befand sich auf einer Holztafel, welche auf einer

grösseren wagerechten Platte, die mit Millimeterpapier bespannt war, verschoben werden konnte.

Von den drei Loten (L_1, L_2, L_3 in Fig. 1) war das eine, L_1 (weiterhin als Fixierlot bezeichnet), in den als typisch bezeichneten Versuchen dauernd in der Medianebene des Beobachters angebracht — und zwar in 23,2 oder 25 oder 30 oder 40 oder 50 cm Distanz von beiden äusseren Augenwinkeln —, und wurde während der Versuchsdauer anhaltend fixiert: als Fixationspunkt diente eine ganz kleine schwarze Wachsperle, welche in der mittleren Augenhöhe, in der Mitte der sichtbaren Strecke des Lotes, angebracht war. Das zweite Lot, L_2 (weiterhin als „gedecktes Lot" oder als „Fernlot" bezeichnet), befand sich in 10 cm (einmal 6 cm) Abstand hinten und etwas rechts von dem ersteren, so dass es durch dieses für das linke Auge vollständig verdeckt war und nur dem rechten Auge sichtbar blieb. Auch dieses Lot behielt während der Versuchsdauer seine Stellung. Das dritte Lot, L_3 (weiterhin als „Vergleichs-" oder „Messlot" bezeichnet), diente zur zahlenmässigen Charakterisierung für den scheinbaren Seitenabstand des nur einäugig sichtbaren Lotes (L_2) von dem binocular betrachteten Lote (L_1). Das Lot L_3 sollte nämlich unter verschiedenen Beobachtungsbedingungen — das eine Mal bei zweiäugiger, das andere Mal bei rechtsäugiger Beobachtung — so eingestellt werden, dass es von Lot 2 ebenso weit seitlich abzustehen schien wie Lot 2 von Lot 1. Diese Aufgabe liess sich nur dann einwandfrei durchführen, wenn Lot 3 so aufgestellt wurde, dass es dem Beobachter in derselben subjektiv frontalen Ebene (Kernebene nach Hering) zu liegen schien wie Lot 1, während Lot 2 symmetrisch zu Lot 1 und 3 hinter dieser Ebene erschien. Lot 3 wurde also in den Längshoropter gebracht, d. h. in den geometrischen Ort der auf korrespondenten Längsreihen in den beiden Augen abgebildeten Aussendinge. — Die Verwendung eines dritten, im Längshoropter stehenden Lotes bildet zugleich ein wertvolles Mittel zur Kontrolle der dauernd binocularen Fixation von L_1. Sobald nämlich der Blick

abschweifen und sich etwa auf L_2 einstellen würde, verriete sich dieser Fehler durch Zerfallen des Eindruckes von L_3 in Doppelbilder und Unsicher- bezw. Falschwerden der Abstandsgleichung. — Dem Lot 3 wurde dabei jener mittlere Seitenabstand gegeben, bei welchem für binoculare Beobachtung die Seitendistanzen L_1 L_2 und L_2 L_3 gleich erschienen. Bei diesem Seitenabstande wurde nämlich von einer zweiten Person die Traghülse des Lotes längs eines horizontal von dem Tragschlitten nach vorne ragenden Messingstäbchens so lange ganz fein abgestuft nach vorne verschoben, bis das Messlot L_3 dem Beobachter in genau derselben Frontalebene zu liegen schien wie das Fixierlot. L_3 kam dabei etwas nach vorne von der wirklichen durch L_1 bezeichneten Frontalebene, aber zugleich nach hinten von dem Vieth-Müller'schen „Horopterkreise“ (durch L_1 und die Knotenpunkte beider Augen gelegt) zu stehen: Die Hering-Hillebrand'sche Horopterabweichung (vergl. M. Frank l. c. und A. Tschermak, Grundlagen der optischen Localisation S. 529—533). Jene Tiefeneinstellung von L_3 wurde während der Versuchsdauer beibehalten, nur der Seitenabstand von L_3 konnte durch die rechte Hand des Beobachters mittels einer feinen, am Tragschlitten angreifenden Schraube verändert werden. Für die äussersten Grenzen der schwankenden Binoculareinstellung kam das Messlot — weil in einer rein frontalen Ebene variiert — zwar genau genommen etwas nach vorne oder nach hinten vom eigentlichen Längshoropter zu stehen. Doch verriet sich bei der geringen Breite der Schwankungen dieser kleine Fehler nicht durch ein deutliches scheinbares Vor- oder Zurücktreten relativ zur subjectiven Frontalebene (Kernebene). Bei Unocularеinstellung des Messlotes fehlte jeder Anlass zu einer verschiedenen Tiefenauslegung von L_1 und L_3; für die Localisation von L_2 war dabei die Erinnerung an den vorangegangenen Eindruck bei binocularer Beobachtung und die Kenntniss der Versuchsanordnung von Einfluss. Suchte der Beobachter nach Möglichkeit davon zu abstrahieren, so fehlte

jedes Motiv zu einer verschiedenen Tiefenauslegung. Die drei Lote erschienen dann in einer und derselben Ebene. Doch erwies sich diese Verschiedenheit der Tiefenauslegung bei unocularer Beobachtung als einflusslos auf den scheinbaren Seitenabstand der Lote. Die binocular getroffene Einstellung erschien alsbald nach Schliessen des linken Auges in einem constant bleibenden Betrage unrichtig; ebenso galt das Umgekehrte.

Besondere Abänderungen der geschilderten typischen Anordnung werden bei der Übersicht der gewonnenen Ergebnisse zu erwähnen sein.

III. Übersicht der Versuchsergebnisse.

An der beschriebenen Versuchsanordnung wurden in zahlreichen Beobachtungsreihen abwechselnd binoculare und unoculare Abstandsgleichungen hergestellt. Jede Einstellung wurde nach einer Pause nachgeprüft, für die schliesslich befriedigend befundene wurde der reine Seitenabstand abgelesen und notiert. Daneben wurden aber auch die Umschlagsgrenzen bestimmt, d. h. Einstellungen auf „eben zu nahe“ und „eben zu fern, d. h. zu weit seitlich“ vorgenommen.

Das Gesamtergebnis der typischen Versuche mit symmetrischer Convergenz ist folgendermassen zu formulieren: Ein vom medianen Fixierlote für das eine Auge gedecktes zweites Lot scheint bei Verwendung beider Augen erheblich geringeren Seitenabstand vom Fixierlote zu besitzen, als bei einäugiger Beobachtung mit demjenigen Auge, dem das zweite Lot allein sichtbar ist. Dieser Unterschied liess sich mit relativ geringer Schwankungsbreite für verschiedene Abstände zahlenmässig charakterisieren. Es handelt sich dabei allerdings nicht um eine eigentliche Messung. Die gesehenen, empfundenen Abstände sind ja etwas Subjectives, wären also nur durch eine subjective Einheit eigentlich und direkt messbar. Eine indirekte Messung wäre möglich, wenn subjective und objective

Abstandsgleichheit stets parallel gingen. Aber auch dieses ist nicht der Fall, wie die Discrepanzerscheinungen, speciell die sogen. Streckentäuschungen dartun. So müssen Strecken (natürlich unter Vermeidung des Tangentenfehlers!) bezw. Winkel immer grösser genommen werden, um gleich zu erscheinen, je mehr excentrisch sie auf der Netzhaut zur Abbildung kommen. Das subjective Sehfeld zeigt so zu sagen eine zentrische Schrumpfung im Vergleich zum objectiven Gesichtsfelde (vgl. A. Tschermak, Grundlagen der optischen Localisation S. 535–537). Danach wäre eine Zugrosseinstellung des $\measuredangle L_2 L_3$ gegenüber dem $\measuredangle L_1 L_2$ für unoculare Beobachtung zu erwarten. Auch sind objectiv gleiche Teile des $\measuredangle L_2 L_3$ subjectiv nicht gleichwertig; die Erweiterung dieses Winkels durch Abrücken von L_3 bei einäugiger Beobachtung würde, wenn der Discrepanzfactor allein in Betracht käme, im objectiven Maasse so zu sagen etwas übertrieben zum Ausdruck kommen gegenüber dem subjectiven Maasse. Allerdings sind diese Discrepanzen nicht gerade erheblich; auch wäre auf Grund besonderer Ermittelungen für das einzelne Individuum eine rechnerische Correctur möglich. In unserem Falle machte aber schon die auffällige Änderung der subjectiven Grössenwerte, des subjectiven Maassstabes im Sehfelde, je nachdem mit beiden Augen oder bloss mit einem beobachtet wurde, die subjectiven Abstände und die objectiv gemessenen Strecken principiell unvergleichbar. Würde sich dabei der Maassstab im ganzen Sehfelde in gleicher Weise ändern, so müsste die Abstandsgleichung richtig bleiben; nur die „absoluten“ subjectiven Grössenwerte würden andere werden. Das Unrichtigwerden der Abstandsgleichung — das scheinbare Grösserwerden des Seitenabstandes $L_1 L_2$ gegenüber $L_2 L_3$ — beweist jedoch, dass der Maassstab im Sehfelde sich nicht gleichmässig ändert, sondern dass derselbe örtlich verschieden wird. Die unmittelbar sicher zu stellende Maassstabänderung für den Seitenabstand $L_1 L_2$ kann übrigens sehr wohl von Einfluss sein auf den Maassstab im übrigen Seh-

felde (man vergl. speciell die von J. Loeb[1]) vertretene Annahme eines Simultancontrastes auf dem Gebiete des optischen Grössensinnes cf. A. Tschermak „Grundlagen der optischen Localisation", S. 547—553, spec. S. 551.

Diese hier nicht weiter auszuführenden Gründe genügen wohl für die These, dass die zahlenmässig fixierten Änderungen in der Aufstellung der Lote keinerlei Messung des geschilderten subjectiven Phaenomens gestatten, sondern nur eine Charakterisierung desselben darstellen — ein wesentlicher Unterschied, wie Tschermak nachdrücklich betont.

Demgemäss ist es nicht verwunderlich, dass die objectiven Differenzen trotz ihrer Bestimmtheit (man vergleiche die engen, nicht übereinandergreifenden Schwankungsbereiche!) relativ klein zu nennen sind, wenn man die subjectiven Abstandsänderungen damit zu vergleichen sucht. Die subjective Abstandsänderung übertrifft deutlich an relativer Grösse um ein Erhebliches die objective Änderung der Lotanordnung, welche bloss ca. $\pm \frac{1}{7{,}5}$ bis $\frac{1}{12}$ ausmacht. Allerdings beträgt der subjective Abstand bei zweiäugiger Betrachtung sicher nicht etwa bloss die Hälfte der scheinbaren Seitendistanz bei einäugigem Sehen.

Nach dieser Auseinandersetzung über die Bedeutung, welche den gewonnenen Zahlenwerten zukommt, seien die an der typischen Versuchsanordnung genommenen Werte in nachstehender Tabelle vorgeführt (vergl. Tab. I).

Den Versuchen an der gewöhnlichen oder typischen Anordnung — für 23,2, 25, 30, 40 und 50 cm Beobachtungsabstand und 6 mm bezw. 10 mm Abstand der beiden in der Gesichtslinie des linken Auges stehenden Lote, L_1 L_2 seien „Naheversuche" angeschlossen, in welchen der Beobachtungsabstand 15 und 20 cm, der Abstand der beiden Lote in der Gesichtslinie des linken Auges wieder 10 cm betrug. Die

1) Über den Nachweis von Contrasterscheinungen im Gebiete der Raumempfindung des Auges. Pflügers Archiv 60, 509—518, 1895. Vergl. auch Zeitschrift f. Psychol. u. Physiol. d. S. O. 16, 298—299, 1898.

Convergenz war auch hier eine symmetrische auf L_1 gerichtete. Bei diesen Versuchen war die früher benutzte Abblendungsröhre durch ein Diaphragma aus schwarzem Carton (10 cm breit, 3,6 cm hoch, circa 10 cm von den äusseren Augenwinkeln entfernt) ersetzt (vergl. Tab. II).

Es erschien angezeigt, den eventuellen Einfluss der Grenzen (speciell des Nasenschattens) bezw. der verschiedenen Form des Sehfeldes bei zweiäugiger und bei einäugiger Beobachtung dadurch auszuschliessen, dass in einer Vergleichsreihe weisse Lote auf gleichmässig dunklem Grunde verwendet wurden (Beobachtungsdistanz 25 cm, Entfernung von L und L_2 10 cm, symmetrische Convergenz, Abblendungsröhre). Die wesentliche Übereinstimmung der Zahlen dieser Reihe (vergl. Tab. III) mit den an schwarzen Loten auf gleichmässig weissem Grunde gewonnenen Zahlen zeigt, dass ein Einfluss jenes Factors auf das untersuchte Phaenomen n i c h t besteht.

Den vorstehend geschilderten Beobachtungen mit symmetrischer Convergenz schliessen sich mit einem durchaus analogen Ergebnisse solche Versuche an, in denen die C o n v e r g e n z eine a s y m m e t r i s c h e war. In der einen Reihe wurde die bisher gewählte Aufstellung der Lote beibehalten und nur das rechterseits befindliche Messlot (L_3), welches schrittweise verstellt wurde, dauernd binocular fixiert. Das mediane Lot L_1 war beiden Augen sichtbar, das rechts und hinten davon befindliche Lot L_2 für das linke Auge durch L_1 verdeckt, also bloss dem rechten Auge sichtbar. Bezüglich der Details der Ergebnisse sei auf Tab. IV verwiesen (Abstand des medianen Lotes von den beiden äusseren Augenwinkeln 25 cm, Entfernung L_1 L_2 wieder 10 cm; Abblendungsröhre).

In einer anderen Reihe war die Aufstellung der Lote in folgendem Sinne geändert. Das binocular fixierte Lot (L_1) stand nicht mehr median, sondern war um die halbe Pupillendistanz nach links oder rechts verschoben, so dass es sich objectiv gerade vorne vor dem linken oder vor dem

rechten Auge befand, 25 cm von dessen äusserem Lidspaltenwinkel entfernt. Hinter L_1 war in 10 cm Abstand L_2 angebracht, welches das eine Mal nur dem rechten, das andere Mal nur dem linken Auge sichtbar war. Das binocular indirect gesehene Messlot (L_3) war beiläufig im Längshoropter angebracht und kam bei Herstellung der Abstandsgleichung etwas nach rechts bezw. nach links von der Medianebene zu stehen. Die Beobachtung geschah durch die Eingangs erwähnte Abblendungsröhre. Die Zahlen der beiden Serien stimmen recht gut überein (vergl. Tab. V A. u. B.)

Bei der unbehinderten zweiäugigen Sichtbarkeit des Fixierlotes (L_1) und des Messlotes (L_3), wie sie in all den oben geschilderten Versuchen bestand, erschien das Fernlot (L_2), obwohl nur dem einen Auge sichtbar, doch vertikal und parallel mit den beiden anderen Loten. Ein gleiches ist übrigens der Fall, wenn bloss 2 Lote, das Fixierlot (L_1) und das Fernlot (L_2) den Augen dargeboten werden. Dieses Verhalten muss deshalb hervorgehoben werden, weil wohl bei der ganz überwiegenden Mehrzahl der Menschen jene Netzhautmeridiane oder besser Elementenreihen, welche angeborenerweise die Empfindung „Vertikal" vermitteln — die Längsmittelschnitte nach Hering —, nicht parallel stehen. In der Primärstellung divergieren dieselben bekanntlich nach oben um 1—3°, ja bis 14° (Hering, Helmholtz, Volkmann — vgl. die Übersicht bei Tschermak, Grundlagen der Lokalisation, S. 538 - 541). Infolge dieser Abweichung des physiologischen Vertikalmeridians vom geometrischen Lotmeridian, welche ebenso für die vertikalempfindenden Elementenreihen im indirekten Sehen, für „Längsnebenschnitte" gilt, wäre zu erwarten, dass einäugig, sei es direkt oder indirekt gesehene Lote, schräg erscheinen und zwar mit dem oberen Ende von der Seite des alleinstehenden Auges weggeneigt. Von der Berechtigung dieser Erwartung auch für meine Person — und damit von dem Bestehen einer nicht unerheblichen Divergenz meiner beiden Längsmittelschnitte — konnte ich mich sofort überzeugen, wenn ich das Fixierlot

(L_1) oder das Messlot (L_3) für ein Auge durch einen Streifen weissen Kartons abdeckte. Alsbald erschien nämlich das jetzt nur einäugig sichtbare Lot in dem obengenannten Sinne schief. (Dasselbe galt für den Fall, dass das Fixierlot bloss von oben und von unten her bis auf die fixierte Perle abgedeckt war, diese aber für die binoculare Betrachtung frei blieb. Für den Grad des Schieferscheinens machte es übrigens keinen Unterschied, ob der Rand des abdeckenden Kartonstreifens gerade oder schief gehalten wurde.) — Gleichzeitig erschien aber auch das dauernd blos einäugig sichtbare Fernlot (L_2) schief. — Wird das Fixierlot (L_1) bald für das eine bald für das andere Auge verdeckt, so erscheint dessen unokularer Eindruck entsprechend der Abweichung des betreffenden Längsmittelschnittes mit dem oberen Ende von der Seite des momentan allein sehenden Auges weg, also nach der Seite des abgeblendeten Auges hingeneigt — das Decklot L_2 aber erscheint beidemale in demselben Sinne schief, nämlich mit dem oberen Ende von der Seite des dauernd alleinsehenden Auges weggeneigt (vergl. Fig. 2).

L. A.	R. A.
(L_1) L_3	L_1 L_2 L_3
L_1 L_3	(L_1) L_2 L_3

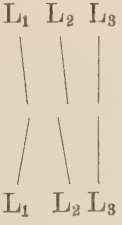

Fig. 2.[1])

(Man beachte dabei, wie für den von den Lotbildern L_2 und L_3 eingeschlossenen Netzhautstreifen im rechten Auge trotz objektiven Konstantbleibens der subjektive Massstab wechselt!) — Sobald das Binocularsehen für das deckende Lot (L_1) aufgehoben ist, erfolgt die Localisation für dessen unocularen Eindruck, sowie für das dauernd unocular gesehene gedeckte Lot (L_2) entsprechend der physiologischen Abweichung des

1) Die Klammer bedeutet Abdeckung des betr. Lotes für das betreffende Auge.

betreffenden Längsnebenschnittes.[1]) Bei unbehindertem Binocularsehen des deckenden Lotes (L_1) erfolgt hingegen für das dauernd unocular gesehene gedeckte Lot (L_3) eine jener Abweichung nicht entsprechende Verticallocalisation. Dieselbe erweist sich als bedingt durch die binoculare Verticallocalisation des deckenden Lotes (L_1).

Wird das Messlot (L_3) bald für das eine bald für das andere Auge verdeckt, so erscheint dessen unocularer Eindruck gleichfalls entsprechend der Abweichung des betreffenden Längsnebenschnittes mit dem oberen Ende von der Seite des momentan allein sehenden Auges weg, also nach der Seite des abgeblendeten Auges hingeneigt — das gedeckte Lot aber erscheint jedesmal im entgegengesetztem Sinne schief (vergl. Fig. 3).

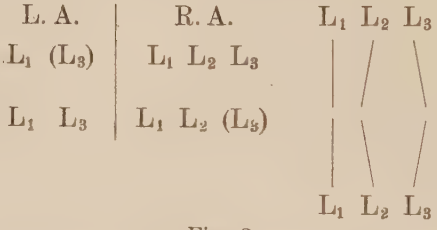

Fig. 3.

Das ausnahmsweise blos einäugige Sichtbarsein und consecutive Schieferscheinen des Messlotes, welches — im Gegensatz zum deckenden Fixierlote (L_1) — an sich keine spezielle Beziehung zum gedeckten Lote (L_2) besitzt, beeinflusst gewissermassen kontrastiv die subjektive Richtung desselben. Dabei erfolgt also nicht wie im ersterwähnten Falle die Lokalisation des gedeckten Lotes (L_2) entsprechend der physiologischen Abweichung des betreffenden Längsnebenschnittes. Das gegensätzliche, gewissermassen kontrastive Beeinflussterscheinen einer objektiv lot- oder wagerechten Linie

1) D. h. jenes Längsnebenschnittes, auf den das Lotbild fallen müsste, um in gleichen Seitenabstande vertical zu erscheinen — also jenes Längsnebenschnittes, welcher den Quermittelschnitt oder physiologischen Horizontalmeridian an demselben Punkte schneidet wie der das Lotbild tragende Meridian.

durch eine benachbarte schräge Linie ist ja eine wohlbekannte Erscheinung, eine sogenannte geometrisch-optische Täuschung.

Gleichzeitiges Abblenden des deckenden Fixierlotes (L_1) und des Messlotes (L_3) für je ein Auge ergab eine interessante Combination der beiden geschilderten Erscheinungen. Für das gedeckte Lot überwog dabei die stets gleichsinnige Localisation gemäss der Abweichung des betreffenden Längsnebenschnittes gegenüber der wechselnden contrastiven Beeinflussung durch den unocularen Eindruck des Messlotes (L_3), eventuell erschien L_2 annähernd vertical zwischen den gegensätzlich schieferscheinenden Loten L_1 und L_3.

Das Schiefwerden der Lote bei den Abblendungsversuchen machte natürlich eine Angabe darüber, ob gleichzeitig der mittlere Seitenabstand eine Änderung erfuhr oder nicht, schwierig oder geradezu unmöglich. Mit ziemlicher Sicherheit schien beim Abdecken des Messlotes (L_3) für das rechte Auge (nicht so für das linke Auge!) — also bei binocularer Sichtbarkeit von L_1 und rechtsäugiger Sichtbarkeit von L_2 — der Seitenabstand L_1 L_2 noch kleiner zu werden, als bei unbehinderter Binocularbeobachtung. Diese Schrumpfung wurde um so erheblicher, je näher der Rand des abdeckenden Kartonstreifens an das Lot L_2 heranrückte. Bei Stillhalten und längerer Betrachtung ging die scheinbare Schrumpfung von L_1 L_2 etwas zurück, aber nicht vollkommen. Die binocular hergestellte Abstandsgleichung $L_1\ L_2 = L_2\ L_3$ wurde unrichtig, indem $L_1\ L_2 < L_2\ L_3$ erschien. Es hat aber wohl keinen Zweck, die bei Wiederherstellung der Gleichung erhaltenen, ziemlich schwankenden Zahlen mitzuteilen. Dasselbe gilt von den Einstellungsversuchen, welche bei den verschiedenen anderen Anordnungen mit Abblendung einzelner Lote ausgeführt wurden.

Es wurde bereits oben betont, dass die Änderung, welche der subjective Abstand hintereinanderstehender Lote beim Wechsel von zweiäugiger und einäugiger Betrachtung erfährt und die gemessene Änderung der Einstellung des 3. Lotes nicht parallel gehen, sondern geradezu incommen-

surabel sind. Sucht man die relative Änderung auf subjectivem und die relative Änderung auf objectiven Gebiete zu vergleichen, so übertrifft die erstgenannte die letztere ganz erheblich. Immerhin erreicht, wie bereits erwähnt, die scheinbare Änderung des Abstandes beim Übergang von unocularer zu binocularer Betrachtung keineswegs die Hälfte des unocularen Wertes, beziehungsweise das Mittel zwischen dem Seitenabstand für beispielsweise linksäugige und dem Seitenabstand für beispielsweise rechtsäugige Betrachtung. Eine solche Mittelstellung zwischen den beiden Werten für unoculare Betrachtung gilt hingegen — wie speciell E. Hering betont hat — für die binoculare Localisation eines stereoscopisch und einfach erscheinenden Objectes, welches sich nicht allzuweit vor oder hinter dem Längshoropter befindet. Behufs directer Vergleichung mit den oben geschilderten Versuchen wurden analoge Bestimmungen an drei Loten ausgeführt, welche alle beiden Augen sichtbar waren. Das mediane Lot (L_1) wurde binocular fixiert, ein zweites Lot (L_2) stand 12,48 mm rechts und 10 mm hinten von dem obengenannten; ein drittes Lot (L_3) befand sich noch weiter rechts beiläufig im Längshoropter. Dieses wurde nun durch eine Frontalverschiebung so eingestellt, dass die Seitenabstände L_3 L_2 und L_2 L_1 gleich erschienen. Bei der Verschmelzung zum binocular-stereoskopischen Eindrucke erfuhr der rechtsäugige Seitenabstand sozusagen eine Schrumpfung, der linksäugige eine Schwellung, sodass der gemeinsame Eindruck etwa dem Mittel entsprach. Dieses kommt auch — von den relativ kleinen Discrepanzen im indirecten Sehen (vergl. oben) abgesehen — in der objectiven Einstellungsweise von Lot 3 recht gut zum Ausdruck (vergl. Tab. VI).

IV. Schlussbetrachtung.

An der Tatsache, dass im Wheatstone-Panum'schen Grenzfalle des binocularen Tiefensehens der Seitenabstand zweier gleicher Objecte, von denen das vordere das hintere

für ein Auge völlig verdeckt, bei zweiäugiger und bei einäugiger Beobachtung verschieden erscheint, kann nach all dem Ausgeführten kein Zweifel sein. Was nun eine Erklärung dieses Phaenomens anlangt, so kann es ja nicht zweifelhaft sein, dass der Eindruck des fixierten Lotes (L_1) in jenem Auge, welchem hierdurch das zweite Lot (L_2) verdeckt wird, von entscheidender Bedeutung ist für den scheinbaren Abstand der beiden Lote und für das Verticalerscheinen des nur dem anderen Auge sichtbaren Lotes. Zur Ergänzung der oben angeführten Beweisgründe sei noch ein specielles Versuchsergebnis angeführt. Wird an der gewöhnlichen Versuchsanordnung das mediane Lot (L_1) für das linke Auge durch zwei Streifen weissen Cartons von oben und unten her bis auf die bifoveal fixierte Perle abgedeckt (also linkes Auge L_3, rechtes L_1, L_2, L_3 sehend), so erscheint erstens nicht blos L_1, sondern auch L_2 schief mit dem oberen Ende nach links geneigt. Zweitens erscheint aber auch der Seitenabstand L_1 L_2 alsbald grösser wie bei unbehindertem Binocularsehen und zwar — abgesehen von der Störung durch das nunmehrige Schieferscheinen von L_1 und L_2 — wesentlich gleich gross wie bei rein rechtsäugiger Betrachtung. Man vergleiche die hierbei erhaltenen Werte (Tab. VII).

Der linksäugige Eindruck des fixierten Lotes (L_1) beeinflusst also einerseits den „correspondenten“[1])

1) Wirklich correspondent wird nur die binocular fixierte Perle abgebildet, die obere und untere Strecke des Lotes (L_1) hingegen mit zunehmender Disparation. (Darauf bezieht sich die Bezeichnung der Eindrücke des fixierten Lotes als „correspondent“ unter Anführungszeichen im weiteren Texte oben.) Der transfoveale Lotmeridian und der physiologische Verticalmeridian oder Längsmittelschnitt stimmen eben nicht überein. Wenn trotzdem unter den gewählten Beobachtungsbedingungen das fixierte Lot keinen stereoskopischen Eindruck macht, also mit dem oberen Ende nicht gegen den Beobachter zu, mit dem unteren nicht vom Beobachter weg geneigt erscheint, so liegt dies — wie M. Sachs und J. Meller (Über einige eigentümliche Localisationsphaenomene in einem Falle von hoch-

rechtsäugigen Eindruck desselben Lotes und bestimmt mit ihm verschmelzend die subjective Frontal- oder Kernebene. Das Messlot (L_3) wurde ja solange fein abgestuft verschoben, bis sein binocular verschmolzener Eindruck gerade in dieser Ebene erschien. Das Lot selbst kommt dabei objectiv in den Längshoropter zu stehen, seine Bilder treffen „correspondierende" Stellen in den beiden Augen. Dass die Verschmelzung des rechts- und des linksäugigen Eindruckes von L_1, ebenso von L_3 eine dauernde ist, beweist das andauernde, scheinbare Verticalbleiben von L_1, ebenso von L_3, während jeder einäugige Eindruck dieser Lote allein für sich schräg erscheint. Andererseits jedoch beeinflusst der linksäugige Eindruck des fixierten Lotes (L_1) gleichzeitig den disparaten, ausschliesslich rechtsäugigen Eindruck des Decklotes (L_2) und bedingt im Verein mit diesem sein zwangsmässiges Erscheinen hinter der Kernebene und zwar in einem erheblich geringeren Seitenabstande, als es der Seitenabstand der isolierten rechtsäugigen Eindrücke von L_1 und L_2 ist. Allerdings geht die Einflussnahme auf den Seitenabstand nicht so weit — nämlich bis etwa zur Hälfte oder zum Mittel —, wie dies bei der Einflussnahme eines linksäugigen Eindruckes auf einen disparaten rechtsäugigen Eindruck unter stereoskopischer Verschmelzung geschieht.

Der transfoveale Eindruck im linken Auge entfaltet demnach — gemäss der Vorstellung von A. Tschermak — gleichzeitig und nicht etwa in gelegentlichem oder raschem Wechsel (Beweis: Constantbleiben der verticalen Richtung und des geringeren Seitenabstandes von L_1 und L_2) zwei

---

gradiger Netzhautincongruenz, Arch. f. Ophth. 57, 1—23, 1903) gezeigt haben — an dem anpassungsweisen, individuell erworbenen Verticalsenen, welches die beiden Lotmeridiane bei gewöhnlicher binocularer Beobachtung vermitteln. Die genannten Untersucher konnten dieses Verhalten sogar in einem Falle (J. Meller) feststellen, welcher einen besonders hohen Grad von Netzhautincongruenz, nämlich eine Divergenz beider Längsmittelschnitte von 14° bei Primärstellung der Augen aufwies.

Funktionen, indem er mit zwei Eindrücken des rechten Auges, nämlich sowohl mit dem „correspondierenden“ transfovealen Eindrucke des rechten Auges als auch mit dem gleichgestalteten, aber querdisparaten Eindrucke des rechten Auges zusammenarbeitet. Das Zusammenarbeiten mit dem „correspondierenden“ Eindrucke, welches die Empfindung der subjectiven Frontal- oder Kernebene vermittelt, sei nach A. Tschermak Planifunction oder Planiskopie (correcter wäre „Homaloskopie“ (ὁμαλος = eben) genannt; das Zusammenarbeiten mit dem querdisparaten Eindrucke, welches einen zwangsmässigen bestimmten Tiefeneindruck vermittelt, sei als Stereofunction[1]) oder Stereoscopie im weiteren Sinne bezeichnet. In dem hier analysierten Falle ist also der vom fixierten Lote gereizte Lotmeridian des linken Auges, der etwas vom Längsmittelschnitt abweicht, gleichzeitig an einer Planifunction (im Verein mit dem Meridian des L_1 im rechten Auge) und an einer Stereofunction (im Verein mit dem Meridian des L_2 im rechten Auge — eventuell mit mehreren unocularen Eindrücken des rechten Auges [vgl. Cap. I]) beteiligt. Augenscheinlich ist dieses Verhalten wesentlich dadurch begünstigt, dass die Eindrücke von L_1 und L_2 an Farbe und Form identisch sind. — Die Frage, welcher Art jenes in gewisser Hinsicht stereoscopische Zusammenarbeiten ist, speciell die Frage, ob die Helligkeit und Farbe des deckenden Eindruckes für jene des gedeckten Eindruckes irgend welche Bedeutung besitzt, oder ob eine ausschliesslich subjectiv-räumliche Einflussnahme stattfindet, bedarf noch der weiteren Untersuchung. — Die gekennzeichnete Vorstellung ergibt sich ungezwungen aus all den angeführten Beobachtungstatsachen. Sie wird einerseits dem von Hering erwiesenen Satze gerecht, dass in dem Wheatstone-Panum'schen Grenzfalle das normale Zusammenarbeiten der beiden Augen, die angeborene Correspondenz oder normale Sehrichtungsgemeinschaft der Netzhäute keineswegs aufhört und durch ein

1) Man entschuldige die kaum zu vermeidende vox hyprida: Planiskopie bezw. Stereofunction, — „Planimetrie“ ist übrigens auch eine!

Doppeltschen mit identischen bezw. correspondierenden Stellen ersetzt wird. Andererseits berücksichtigt jene Vorstellung den oben festgestellten Einfluss des einen Auges auf verdeckte unoculare Eindrücke des anderen Auges — ein Einfluss, welcher qualitativ, wenn auch nicht quantitativ, dem Zusammenarbeiten beider Augen beim gewöhnlichen stereoskopischen Einfachsehen vergleichbar ist. Allerdings wird damit nicht die Vorstellung vertreten, dass unter Aufhören der Correspondenz nunmehr ein gewöhnliches stereoskopisches Einfachsehen mit disparaten Netzhautstellen, nähmlich mit dem transfovealen Lotmeridian (ML_1) des linken und einem excentrischen Lotmeridian (ML_2) des rechten Auges stattfinde. Der Umstand, dass eine und dieselbe Netzhautstelle (und zwar nicht bloss die Fovea bezw. der transfoveale Lotmeridian, sondern auch ein excentrischer Lotmeridian) gleichzeitig an einer Planifunction — bei Gegebensein mehrerer gedeckter Objecte sogar an einer Stereofunction in mehrfacher Hinsicht — beteiligt sein kann, eröffnet gewiss so manche Perspective für eine Theorie der binocularen Tiefenwahrnehmung überhaupt. Doch ist heute noch nicht der Zeitpunkt gekommen, die Formulierung einer solchen zu versuchen, für welche Hering's classische Arbeiten den Grund gelegt haben.

Ergebnisse.

1. Der Seitenabstand zweier gleicher Objecte, z. B. zweier Lote, von denen das vordere das hintere für ein Auge völlig verdeckt — im Vorstehenden als Wheatstone-Panum'scher Grenzfall des binocularen Tiefensehens bezeichnet — erscheint bei zweiäugiger Beobachtung erheblich kleiner, als bei unocularer Beobachtung mit jenem Auge, für welches das betreffende Object allein sichtbar ist.

2. Dieses Verhalten wurde durch Herstellung einer Abstandsgleichung mittelst eines dritten, im Längshoropter verschieblichen Lotes zahlenmässig charakterisiert (nicht gemessen!). Die subjective Abstandsänderung übertrifft deutlich

an relativer Grösse um ein Erhebliches die objective Änderung der Lotanordnung, welche blos etwa $\frac{1}{7,5}$ bis $\frac{1}{12}$ ausmacht. Allerdings erreicht die subjective Abstandsänderung bei binocularer Beobachtung keineswegs die Hälfte des unocularen Wertes. Die binoculare Localisation eines stereoscopisch und einfach gesehenen Objectes nimmt hingegen eine Mittelstellung ein zwischen den beiden Werten für unoculare Betrachtung.

3. Jene locale Änderung des subjectiven Maassstabes liess sich sowohl bei Verwendung schwarzer Lote auf weissem Grunde, als bei Verwendung von weissen auf Schwarz, für symmetrische wie für asymmetrische Convergenz in verschiedenen Abständen nachweisen und zahlenmässig charakterisieren.

4. Sobald das Binocularsehen für das fixierte, deckende Lot aufgehoben ist, wird dessen einäugiger Eindruck, ebenso jener des gedeckten Lotes schief entsprechend der Abweichung des Verticalmeridians oder Längsmittelschnittes vom Lotmeridian.

5. Der Eindruck des fixierten Lotes in demjenigen Auge, welchem hierdurch das zweite Lot verdeckt wird, beeinflusst sowohl den correspondierenden Eindruck dieses Lotes, im anderen Auge (verticales Verschmelzungsbild!) als den disparaten Eindruck des gedeckten Lotes, so dass dessen scheinbarer Abstand und dessen Verticalerscheinen hierdurch bestimmt wird. Der vom fixierten Lote gereizte Meridian des erstgenannten Auges entfaltet gemäss der Vorstellung von A. Tschermak gleichzeitig zwei Functionen, eine Planifunction und eine Stereofunction.

Tabelle II

Beobachtungen schwarzer Lote auf weissem Grunde in 23

Abstand des medianen Fixierlotes L_1 von den äusseren Augenwinkeln	Das Messlot L_3 steht dauernd von der durch das Fixierlot bezeichneten Frontalebene um	Entfernung des Fernlotes (L_2) vom Fixierlot (L_1)		Reiner Seitenabstand des Messlotes (L_3) vom Fixierlot (L_1) bei **binocularer** Einstellung		
				linear		Maass des Winkels L_2 für das rechte Au
		linear	im Winkelmaass für das rechte Auge	Mittel	Schwankungsgrenzen	Mittel
			$< L_1 L_2 = \varepsilon$			$< L_2 L_3 =$
25 cm	1,4 mm	60 mm	**2° 50′ 8,5″**	**22,31** (20) gleich 22,3 (3) zu nahe 22,95 (3) zu fern	**21,9—22,8** 22,0—22,6 22,7—23,0	**2° 16′ 3,1**
23,2 cm	1,3 mm	100 mm	**4° 45′ 59,2″**	**38,04** (10) gleich 37,4 (3) zu nahe 38,3 (3) zu fern	**37,9—38,3** 37,0—37,7 38,2—38,4	**4° 40′ 33,7**
25 cm	0,8 mm	100 mm	**4° 11′ 40,8″**	**35,67** (6) gleich 35,25 (2) zu nahe 36,15 (2) zu fern	**35,5—36,1** 35,2—35,3 36,1—36,2	**4° 0′ 38,0**
30 cm	1,0 mm	100 mm	**3° 2′ 57,2″**	**31,11** (10) gleich 30,7 (3) zu nahe 31,6 (3) zu fern	**30,8—31,3** 30,6—30,8 31,5—31,8	**3° 3 54,1**
40 cm	0,6 mm	100 mm	**1° 50′ 3,9″**	**23,81** (10) gleich 23,47 (3) zu nahe 24,6 (3) zu fern	**23,7—24,1** 23,4—23,6 24,5—24,7	**1° 34 30,7**
50 cm	0,3 mm	100 mm	**1° 13′ 23,5″**	**19,6** (6) gleich 19,53 (3) zu nahe 20,7 (3) zu fern	**18,1—20,2** 19,4—19,7 20,7—20,7	**1° 1′ 20,1**

[1]) In Stab 5 und 8 dieser und der folgenden Tabellen bedeuten die eingeklammert

Tabelle I.

25; 30; 40; 50 cm Abstand bei symmetrischer Convergenz.[1])

Reiner Seitenabstand des Messlotes (L_3) vom Fixierlot (L_1) bei **unocularer** und zwar rechtsäugiger Einstellung.			Einstellungsdifferenzen			
linear		Maass des Winkels $L_2 L_3$ für das rechte Auge	für den Seitenabstand des Messlotes (L_3) bei unocularer und zwar rechtsäugiger und bei binocularer Beobachtung		$< L_1 L_2 - < L_2 L_3$ unocular	$< L_1 L_2 - < L_2 L_3$ binocular
Mittel	Schwankungsgrenzen	Mittel	linear	im Winkelmaass $< L_2 L_3$ unocular $< L_2 L_3$ binocular		
		$< L_2 L_3 = \eta_u$		$\eta_u - \eta_b$		
23,585 (20) gleich	**23,0—24,0**	**2° 33′ 48,5″**	1,275 mm	0° 17′ 45,4″	+ 0° 16 20,0″	+ 0° 34′ 5,4″
23,03 (3) zu nahe	23,0—23,1					
23,57 (3) zu fern	23,5—23,6					
39,61 (10) gleich	**39,2—40,0**	**5° 4′ 9,8″**	1,57 mm	0° 23′ 36,1″	− 0° 18′ 10,6″	+ 0° 5′ 25,5″
38,9 (3) zu nahe	38,5—39,2					
39,93 (3) zu fern	39,8—40,0					
36,75 (6) gleich	**36,5—37,0**	**4° 15′ 39,8″**	1,08 mm	0° 15′ 1,8″	− 0° 3′ 59,0″	+ 0° 11′ 2,8″
36,05 zu nahe	36,0—36,1					
37,05 zu fern	37,0—37,1					
32,63 (10) gleich	**32,4—32,8**	**3° 4′ 26,7″**	1,52 mm	0° 0′ 32,6″	− 0° 1′ 29,5″	− 0° 0′ 56,9″
31,63 (3) zu nahe	31,5—31,8					
32,57 (3) zu fern	32,5—32,6					
25,42 (10) gleich	**25,2—25,9**	**1° 48′ 25,0″**	1,61 mm	0° 13′ 54,3″	+ 0° 1′ 38,9″	+ 0° 15′ 33,2″
24,93 (3) zu nahe	24,8—25,1					
26,0 (3) zu fern	25,9—26,1					
20,75 (6) gleich	**19,7—21,5**	**1° 9 14,3″**	1,15 mm	0° 7′ 54,2″	+ 0° 6′ 9,2″	+ 0° 12′ 3,4″
20,87 (3) zu nahe	20,7—21,0					
21,83 (3) zu fern	21,8—21,9					

[1]) iffern die Zahl der Einzelbeobachtungen, aus denen das Mittel genommen wurde.

Tabelle II.

Beobachtungen schwarzer Lote auf weissem Grunde

Abstand des medianen Fixierlotes L_1 von den äusseren Augenwinkeln	Das Messlot L_3 steht dauernd von der durch das Fixierlot bezeichneten Frontalebene um	Entfernung des Fernlotes (L_2) vom Fixierlot (L_1)		Reiner Seitenabstand des Messlotes (L_3) vom Fixierlot (L_1) bei **binocularer** Einstellung		
				linear		Maass des Winkels L_2 für das rechte Auge
		linear	im Winkelmaass für das rechte Auge	Mittel	Schwankungsgrenzen	Mittel
			$< L_1 L_2 = \varepsilon$			$< L_2 L_3 =$
15 cm	4,4 mm	100 mm	9° 49′ 57,2″	47,65 (4) gleich 47,1 (2) zu nahe 47,95 (2) zu ferne	47,6 – 47,7 47,1—47,1 47,9—48,0	8° 46′ 4,9
20 cm	4,0 mm	100 mm	6° 7′ 25,7″	40,2 (4) gleich 39,6 (2) zu nahe 40,65 (2) zu fern	40,1—40,3 39,6—39,6 40,6—40,7	5° 30′ 37,6

Tabelle III.

Beobachtungen weisser Lote auf weissem Grund

			$< L_1 L_2 = \varepsilon$			$< L_2 L_3 =$
25 cm	0,8 mm	100 mm	**4° 11′ 40,8″**	35,75 (4) gleich 35,4 (2) zu nahe 36,3 (2) zu ferne	35,7—35,8 35,35 – 35,45 36,25 – 36,35	**4° 1′ 43,5″**

Tabelle II.

5 und 20 cm Abstand bei symmetrischer Convergenz.

Reiner Seitenabstand des Messlotes (L_3) vom Fixierlot (L_1) bei **unocularer** und zwar rechtsäugiger Einstellung.			Einstellungsdifferenzen			
linear		Maass des Winkels $L_2 L_3$ für das rechte Auge	für den Seitenabstand des Messlotes (L_3) bei unocularer und zwar rechtsäugiger und bei binocularer Beobachtung		$< L_1 L_2 - < L_2 L_3$ unocular	$< L_1 L_2 - < L_2 L_3$ binocular
Mittel	Schwankungsgrenzen	Mittel	linear	im Winkelmaass $< L_2 L_3$ unocular $< L_2 L_3$ binocular		
		$< L_2 L_3 = \eta_u$		$\eta_u - \eta_b$		
48,775 (4) gleich	48,7 -48,8	$9^0\ 12'\ 56{,}8''$	1,125 mm	$0^0\ 26'\ 51{,}9''$	$0^0\ 37'\ 0{,}4''$	$1^0\ 3'\ 52{,}3''$
47,95 (2) zu nahe	47,9—48,0					
49,15 (2) zu fern	49,1 – 49,2					
41,35 (4) gleich	41,3—41,4	$5^0\ 51'\ 1{,}5''$	1,15 mm	$0^0\ 20'\ 23{,}9''$	$0^0\ 16'\ 24{,}2''$	$0^0\ 36\ 48{,}1''$
40,55 zu nahe	40,5—40,6					
41,85 zu fern	41,8—41,9					

Tabelle III.

1 25 cm Abstand bei symmetrischer Convergenz.

		$< L_2 L_3 = \eta_u$		$\eta_u - \eta_b$		
36,78 (4) gleich	36,7 – 36,9	$4^0\ 16'\ 2{,}8''$	1,03 mm	$0^0\ 14'\ 19{,}3''$	$-0^0\ 4'\ 22{,}0''$	$+0^0\ 9'\ 57{,}3''$
36,40 (2) zu nahe	36,35—36,45					
37,4 (2) zu fern	37,35—37,45					

Tabelle IV

Beobachtungen schwarzer Lote auf weissem Grund

Abstand des medianen Fixierlotes L_1 von den äusseren Augenwinkeln	Das Messlot L_3 steht dauernd von der durch das Fixierlot bezeichneten Frontalebene um	Entfernung des Fernlotes (L_2) vom Fixierlot (L_1)		Reiner Seitenabstand des Messlotes (L_3) vom Fixierlot (bei **binocularer** Einstellung		
				linear		Maass Winkels für da rechte A
		linear	im Winkelmaass für das rechte Auge	Mittel	Schwankungsgrenzen	Mitte
			$< L_1 L_2 = \varepsilon$			$< L_2 L_3 =$
25 cm	1,5 mm	100 mm	**4° 11′ 40,8″**	34,98 (6) gleich	34,9—35,2	**3° 50′ 38**
				34,53 (3) zu nahe	34,5—34,6	
				35,27 (3) zu fern	35,2—35,3	

Tabelle V

Beobachtungen schwarzer Lote auf weissem Grunde
befindliche Lot (L_1), welches ein zwe

25 cm	0,5 mm	100 mm	$< L_1 L_2 = \varepsilon$ **4° 0′ 9,1″**	35,07 (4) gleich	35,0—35,1	$< L_2 L_3 =$ **3° 44′ 30**
				34,63 (3) zu nahe	34,6—34,7	
				35,57 (3) zu fern	35,5—35,6	

Tabelle V

25 cm	0,8 mm	100 mm	$< L_1 L_2 = \varepsilon$ **4° 0′ 9,1″**	35,32 (8) gleich	35,0—35,9	$< L_2 L_3 =$ **3° 47′ 15**
				35,45 (2) zu nahe	35,4—35,5	
				36,35 (2) zu fern	36,3—36,4	

Tabelle IV.

25 cm Abstand bei asymmetrischer Convergenz auf Lot 3.

Reiner Seitenabstand des Messlotes (L_3) vom Fixierlot (L_1) bei **unocularer** und zwar rechtsäugiger Einstellung.			Einstellungsdifferenzen			
linear		Maass des Winkels $L_2 L_3$ für das rechte Auge	für den Seitenabstand des Messlotes (L_3) bei unocularer und zwar rechtsäugiger und bei binocularer Beobachtung		$< L_1 L_2 - < L_2 L_3$ unocular	$< L_1 L_2 - < L_2 L_3$ binocular
Mittel	Schwankungsgrenzen	Mittel	linear	im Winkelmaass $< L_2 L_3$ unocular $< L_2 L_3$ binocular		
		$< L_2 L_3 = \eta_u$		$\eta_u - \eta_b$		
36,35 (6) gleich	36,1—36,7	**4° 9′ 31,0″**	1,37 mm	0° 18′ 52,6″	+ 0° 2′ 9,8″	+ 0° 21′ 2,4″
35,9 (3) zu nahe	35,8 - 36,0					
36,83 (3) zu fern	36,8—36,9					

Serie A.

asymmetrischer Convergenz auf das vor dem einen Auge Lot (L_2) für dieses Auge verdeckt.

		$< L_2 L_3 = \eta_u$		$\eta_u - \eta_b$		
35,72 (4) gleich	35,7—35,8	**3° 58′ 30,4″**	0,65 mm	0° 14′ 0,4″	+ 0° 1′ 38,7″	+ 0° 15′ 39,1″
35,33 (3) zu nahe	35,3—35,4					
36,2 (3) zu fern	36,1—36,3					

Serie B.

		$< L_2 L_3 = \eta_u$		$\eta_u - \eta_b$		
36,1 (4) gleich	35,8—36,7	**3° 57′ 53,6″**	0,78 mm	0° 10′ 37,7″	+ 0° 2′ 15,5″	+ 0° 12′ 53,2
36,05 (2) zu nahe	36,0—36,1					
37,05 (2) zu fern	37,0—37,1					

Tabelle

Beobachtungen von drei durchweg sichtbaren Loten auf wei

Abstand des medianen Fixierlotes L_1 von den äusseren Augenwinkeln	Das Messlot L_3 steht dauernd vor der durch das Fixierlot L_1 bezeichneten Frontalebene	Entfernung des Fernlotes (L_2) vom Fixierlot (L_1)					Reiner Seitabstand des Messlotes bei **binocularer** Beobachtung aller drei Lote			
		linear			Excentricitäts-winkel ($< L_1 L_2$)		linear		Excentricitä winkel ($< L_$	
		Entfernung	reiner Seitenabstand bezogen auf die Frontalebene	reiner Fernabstand	im rechten Auge	im linken Auge	Mittel	Schwankungsgrenzen	im rechten Auge (Mittel)	i lin Au (M
30 cm	1,5 mm	16 mm	12,48 mm	10 mm	**2° 30′ 2,2″**	**2° 5′ 2,4″**	26,43 (4) gleich 25,93 (2) zu nahe 26,83 (2) zu fern	26,28–26,58 25,88–25,98 26,78–26,88	**2° 32′ 50,9″**	**2° 53**

Tabelle VI.

Grunde in 30 cm Abstand bei symmetrischer Convergenz auf Lot 1.

Reiner Seitenabstand des Messlotes (L_3) bei **rechtsäugiger** Beobachtung			Reiner Seitenabstand des Messlotes (L_3) bei **linksäugiger** Beobachtung			Einstellungsdifferenzen des Messlotes (L_3) bei binocularer und bei			
linear		Maass des Winkels $L_2 L_3$ für das r. Auge	linear		Maass des Winkels $L_2 L_3$ für das l. Auge	rechtsäugiger Betrachtung		linksäugiger Betrachtung	
Mittel	Schwankungsgrenzen	Mittel	Mittel	Schwankungsgrenzen	Mittel	linear	im Winkelmaass für das rechte Auge ($L_2 L_3 B - L_2 L_3 U$)	linear	im Winkelmaass für das linke Auge ($L_2 L_3 B - L_2 L_3 U$)
29,88 (4) gleich	29,68–30,08	**3° 12′ 48,1″**	24,58 (4) gleich	24,38–24,78	**2° 35′ 8,8″**	— 3,45	— 0° 39′ 57,2″	+ 1,85	+ 0° 18′ 46,8″
29,43 (2) zu nahe	29,38–29,48		24,33 (2) zu nahe	24,28–24,38					
30,43 (2) zu fern	30,38–30,48		25,03 (2) zu fern	24,98–25,08					

Tabelle VII.

Beobachtungen schwarzer Lote auf weissem Grunde in 25 cm Abstand bei symmetrischer Convergenz.

Abstand des medianen Fixierlotes L_1 von den äusseren Augenwinkeln	Entfernung des Fernlotes (L_2) vom Fixierlote (L_1)	Reiner Seitenabstand des Messlotes (L_3)		
		bei unbehindertem Binocularsehen von L_1 und L_3	bei Abdeckung von L_1 bis auf die Perle für das linke Auge	bei völligem Verdecken des linken Auges, also unocular rechtsäugiger Beobachtung
		Mittel	Mittel	Mittel
cm	mm	mm	mm	mm
25	100	A. 35,67 B. 35,16	36,72 36,6	36,75 36,2

Lebenslauf.

Ich, Paul Hoefer, bin geboren am 10. Februar 1881 zu Halle a. S. in Preussen. Ich besuchte die Vorschule und die Lateinische Hauptschule der Francke'schen Stiftungen, wo ich im September 1899 das Abiturienten-Examen bestand. Ich bezog im Herbst 1899 die Universität Halle, um zunächst Naturwissenschaften und Philosophie und darauf Medizin zu studieren. Am 13. Mai 1902 bestand ich hier die Medizinische Vorprüfung. Von Oktober 1903 bis März 1904 studierte ich in München, von April 1904 bis März 1905 in Halle — wo ich als Hülfsassistent am Physiolog. Institute tätig war —, und vom März 1905 bis September 1905 in Leipzig Medizin.

Im Winter 1905/06 unterzog ich mich vor der ärztlichen Prüfungs-Kommission zu Halle a. S. der ärztlichen Staatsprüfung. Meine Approbation als Arzt erhielt ich am 25. April 1906. Das Colloquium bestand ich am 10. August 1906.

Während meiner Studienzeit besuchte ich die Vorlesungen, Kliniken und Kurse folgender Herren Professoren und Docenten:

Bernstein, Bielschowsky, Bollinger, v. Bramann, Brandes, Bumm, Bunge, Dorn, Eberth, Eisler, Eversbusch, Fraenkel, Franz, Frese, Freund, v. Fritsch, Gebhardt, Grenacher, Haasler, Harnack, Hagen, Heilbronner, Hennig, Herzog, Hirsch, Hitzig, Kraepelin, Klaussner, Klebs, Kirchhoff, Kromayer, Krückmann, Lipps, Medicus, Mehnert, v. Mering, Müller, Nebelthau, Riehl, Roux, Schlösser, Schmidt-Rimpler, Schwarz, Schultze, Stammler, Stumpf, Tschermak, Vaihinger, Veit, Volhard, Weber, v. Winkel, Winternitz, Wirth, Wund, Ziegenspeck.

Ihnen allen spreche ich an dieser Stelle meinen wärmsten Dank aus.